

誤差拡散法を用いた限定色画像の 平滑化

中嶋 正之, 安居院 猛, 太田 稔
東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設 凸版印刷株式会社

コンピュータグラフィクス画像及び自然画像を対象とするカラーデジタル画像の圧縮符号化方式の提案を行う。ここでは、データ圧縮のために、限定色表示された画像に生起する問題点である偽輪郭線の出現と色の大幅な変化に対処するため、限定色表示に対する平滑化処理として、良好な視覚特性を与える新しい誤差拡散法の提案を行っている。

本報告では始めに、使用する限定色表示および従来の誤差拡散アルゴリズムについて示し、次に、その改良アルゴリズムとして局所的誤差拡散アルゴリズムを示す。最後に、アニメーション用セル画像および自然画像に対する適用実験結果を示し、その視覚特性およびデータ圧縮の効果に関する検討を行っている。

New smoothing method for color quantized image using
local error distribution

Takeshi AGUI* Masayuki NAKAJIMA* Minoru OHTA**

*Imaging Science and Engineering Laboratory, **Toppan Printing Co., Ltd.
Tokyo Institute of Technology

This paper presents a new image data compression technique using false contour smoothing methods for color quantized image.

Our proposed technique processes original full color images along raster scan line and consists of two processes which are color image quantization process and error distribution process.

Color quantization process makes data compression of color images and error distribution process makes false contour smoothing. These algorithms are very simple but very effective.

This paper shows our proposed methods and two kinds of experimental results concerning full color images.

1. はじめに

コンピュータグラフィクス特にコンピュータアニメーションにおいては、大量のカラー画像が発生し、それらを蓄積するためのファイルが膨大となっていた。また、静止画においても、画像データベースの構築においては、大量のカラー画像が発生し、そのファイルが膨大となる傾向にある。

そこで、これらの膨大なデジタル画像データを効率良く蓄積し、管理する方式が検討されており¹⁾、筆者らは、主としてCG画像を対象とする各種の圧縮符号化法を提案した^{2)~4)}。また、CG画像のみならず自然画像を対象として、カラー階調画像の高圧縮化技法として、限定色表示法と画素交換ディザ法を併する方式を提案した⁷⁾。本方式の利用により、自然画像に対しても大幅な圧縮率を得ることができたが、出力画像の劣下が多少目立っていた。そこで、本報告では、その改良として、良好な視覚特性を与える誤差拡散法を併用する方法について提案する。

2. 限定色表示について

本報告では、カラー階調画像の高圧縮化の技法として限定色表示法と、新たに提案する二つの技法を併用する方式の提案を行っている。そこで第一段階の限定色表示法^{5)~7)}について簡単に示す。

カラー階調画像の表示装置の一つにカラー・ルックアップ・テーブルを用いたグラフィックディスプレイがある。一般にディスプレイが同時に表示可能な色数は、8色から約1600万色である。カラー・ルックアップ・テ

ブルを用いたグラフィックディスプレイは、各画素データに色番号が与えられる。この色番号はルックアップ・テーブル内のデータを示している。例えば、1画素に対する色のデータの長さとして8ビットが与えられた場合には、256種類の色を選択して表示することができる。しかし、写真等の画像は、256色以上の色が使用されていることが多い。このような場合、原画像をそのままグラフィックディスプレイに表示することはできない。そのため、できるだけ原画像に忠実な画像を表示するようなルックアップ・テーブルを作成しなければならない。このようなルックアップ・テーブルの作成を代表色の決定と呼ぶ⁸⁾。一方、限定色表示法をデータ圧縮の側面から考えると、限定色表示法は各色を表すデータ量を減少させると同時に、原画像にできるだけ忠実な画像を表示するための手法であり、有効なデータ圧縮法といえる。従来、限定色表示に関する多くの方式が提案されている^{5)・6)・7)}。その中で比較的良好な結果を示し、かつ記憶領域の節約が実施する適応型部分空間法⁹⁾を利用する。

3. 誤差拡散法

3. 1 誤差拡散法について

第2章限定色表示法では、限定色表示のときに起こる問題として、偽輪郭線の発生がその問題点となっており、偽輪郭線を滑らかにする方法として、誤差拡散法がある⁸⁾。次にその一般的アルゴリズムについて述べる。

誤差拡散法の基本的考え方は次のようになる。作成された代表色により限

定色表示を行う段階で、原画像と代表色の比較を行い、RGB空間での距離が最小となる色を代表色として決定する処理がある。この時、決定された代表色と原画像の画素との間に量子化誤差が発生する。この誤差を注目画素の近傍の画素に拡散させ、処理画像の広い領域での平均的な色を、原画像の色に近付ける方法である。

白黒階調画像を対象とした誤差拡散法がFloyed and Steinberg⁹⁾により報告された。彼らは各画素における量子化誤差を注目画素の近傍の画素に加算し、近傍の画素の値を更新するという方法を提案した。図1に誤差拡散処理時の注目画素近傍の状態を示す。Xは既に値が決定された画素、*は現在処理中の注目画素で、A、B、C、D、はその近傍で*の処理により影響を受ける画素、Oは値を決定されていない画素である。*における量子化誤差をEとすると、Aに $7/16E$ 、Bに $1/6E$ 、Cに $5/16E$ 、Dに $3/16E$ を加算し、A B C Dの値を変更して行く。この処理をラスタ操作の方向に従い1画素単位で処理を行う。

```

X X X X X X
X X X X X X
X X * A O O
O D C B O O
O O O O O O
O O O O O O

```

図1 白黒画像における誤差拡散処理時の注目画素近傍

また、カラー階調画像を対象画像にし、ルックアップ・テーブルを利用した方法をPaul Heckbertが提案した¹⁰⁾。その他に誤差拡散処理を行った時の問題点を改良した方法¹¹⁾も提案されているので、それらについて述べる。

3. 2 カラー階調画像における誤差拡散法

カラー階調画像を対象とした方法について紹介する。基本的な考え方はFloyed and Steinbergの提案と同じであるが、カラー階調画像を対象とするために、最適代表色を決定する場合、原画像の注目画素のデータと各代表色の比較を行う。比較方法はRGB空間上での距離が最小になる代表色を最適代表色とする。量子化誤差の加算法については、RGBの各要素別に処理を行う。注目画素周辺で影響のある画素の位置が図2のようになる。また図2で量子化誤差Eの影響を受ける画素A、B、Cの係数はそれぞれ、 $3/8$ 、 $1/4$ 、 $3/8$ となる。このような誤差拡散処理を行った場合、限定色表示に使用する同一代表色、同じ色数を使用しながら、限定色表示で発生する偽輪郭線の問題が解決できる。しかし、広い等色領域において、誤差拡散法を用いた場合には、誤差が少しずつ蓄積して、最後には元の色とかけ離れた色を出力することがある。また誤差が増減を繰り返し、周期的に色の変化が起こり、市松模様が発生するという問題点がある。これらの問題点を解決するための手法として、以下に示す蓄積された誤差を制御する方法を用いた誤差拡散法が提案されている。

```

X X X X X X
X X X X X X
X X * A O O
O O C B O O
O O O O O O

```

図2 カラー階調画像における誤差拡散処理時の注目画素近傍

3. 3 蓄積誤差制御タイプ誤差拡散法

この手法は蓄積される誤差を制御する方法である。量子化誤差は一般に式(1)で表される。

$$E = C_{ij} - DB \dots \dots (1)$$

E : 量子化誤差

C_{ij} : 誤差を加算した原画像の注目画素の値

DB : 最適代表色の値

しかし本手法ではさらにもう一つの量子化誤差の式(2)を用いる。

$$E' = C'_{ij} - DB \dots \dots (2)$$

E' : 誤差伝搬を行わない量子化誤差

C'_{ij} : 誤差を加算しない原画像の注目画素の値

DB : 最適代表色の値

式(1)の誤差計算式だけを用いて誤差拡散処理を行った場合、RGB空間において注目画素の近傍に代表色が存在しないと、あばた模様が発生することがある。一方、式(2)の誤差計算式を用いて誤差拡散処理を行った場

合、あばた模様は発生しないが、単なる限定色表示を行うのと同じであり、偽の輪郭線が発生する。そこで誤差拡散処理を行うとき、式(1)と(2)を交互に用いることにより、偽輪郭線の発生とあばた模様の発生を緩和する方法が蓄積誤差制御タイプ誤差拡散法である。しかし、この方式においては、(1)、(2)式の制御方式が問題となっている。

ここで既存の誤差拡散法の問題点についてまとめておく。視覚面では偽輪郭線の発生に関してかなりの効果が認められる。しかし原画像全体に対して誤差拡散処理を行うため、原画像中のエッジが不明瞭になるという問題点がある。また、あばた模様の発生も挙げられる。一方データ圧縮の面から考えると、原画像の等色領域に対しても誤差拡散処理を行うため、等色領域が保存されない。そのためランレングス符号化等を用いた場合、効率の良いデータ圧縮が行えないという問題点も生じる。

4. 局所的誤差拡散法

誤差拡散法で起こる問題点を解決するために提案したのが局所的誤差拡散法である。この手法の基本的考え方とアルゴリズムについて述べる。

この方法は処理対象画像を原画像とする。原画像を等色領域とそれ以外に領域分けをし、等色領域に対しては(2)式で与える限定色表示処理を行い、その他の領域に対しては(1)式を用いる誤差拡散処理を行う。この処理により等色領域は保たれるので、データ圧縮時の効率の悪さは解消され、同時に原画像のエッジは保存される。

また限定色表示を行ったときに偽輪郭線の発生する部分に対しては、誤差拡散処理を行うため、偽輪郭線の発生を防げる。

次にアルゴリズムについて述べる。原画像を対象にして次に示す処理 (a) (b) , (c) を行う。

処理 (a)

等色領域とエッジの抽出を行う。同一色の画素が原画像の横方向に一定の数以上連続し、かつ次の画素が別の色の場合、色が変わった境界をエッジとする。また同一色画素の連続を等色領域とする。

処理 (b)

等色領域とエッジの左右1画素については限定色表示処理を行う。

処理 (c)

等色領域とエッジの左右1画素については、誤差拡散処理を行う。

しかし誤差拡散法は図2に示したように、注目画素の近傍の画素データに量子化誤差が加算される。そこで誤差拡散処理の対象領域においても、注目画素の直下が等色領域である場合は、等色領域を保存するために限定色表示処理を行う。

6. 実験例と各種方式の比較検討

6. 1 視覚特性について

コンピュータ・アニメーション用カラーデジタル画像を対象に誤差拡散処理を施した結果を図3に示す。

図3 (a) は原画像であり、512 × 480画素で、各画素点は、R, G, B, 各8ビットの階調値として与えら

れている。図3 (b) は、(a) の原画像に対して、128色で誤差分散処理を施したものである。この図から明らかのように、帽子のツバや紙の毛、等の等色領域にまだら状の雑音が発していることが分かる。

それに対し、図3 (c) の局所的誤差拡散法においてはまだら状の雑音が消え、原画像に近い画像となっていることが分かる。

同様に、図3 (d) (e) は、64色で誤差拡散処理と局所的誤差拡散処理を施した結果であり、原画像の24ビットに対し、6ビットにデータ圧縮した場合でも局所的誤差拡散処理を施した (e) 図では、原画像に近い画像となっていることが分かる。

しかし、この局所的な誤差拡散処理においては、欠点として、原画像中の細かい線が多少太く見えるのが挙げられる。

一方、自然画像を対象とした結果を図4に示す。図4 (a) は原画像であり、(b) は64色での誤差拡散処理を施したものである。誤差拡散法は、偽の輪郭線の発生を防ぐという効果があるが、64色という極めて少ない色数のため、肌がざらついた汚い状態になっている。それに対し、局所的誤差拡散処理を施したのが図 (c) であり、(b) と同じ64色でありながら平滑化された美しい画像となっている様子が分かり本手法の有効性が確認される。



(a) 原画像



(b) 誤差分散処理 (1 2 8 色)



(c) 局所的誤差拡散処理 (1 2 8 色)

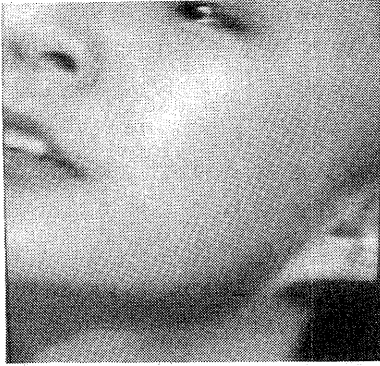


(d) 誤差拡散処理 (6 4 色)

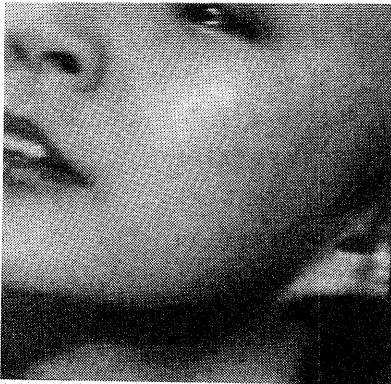


(e) 局所的誤差拡散処理 (6 4 色)

図 3 C G 画像に対する適用実験結果



(a) 原画像



(b) 誤差拡散処理 (64色)



(c) 局所的誤差拡散処理 (64色)

図4 自然画像に対する適用実験結果

6. 2 データ圧縮の効果

誤差拡散処理を施すことにより、色数が少なくなるため、 $1/3 \sim 1/4$ 程度にデータが圧縮される。

しかし、限定色表示のため等色の領域が存在するため可逆型のストラクチャランレングス符号化法を利用することにより、さらに大幅なデータ圧縮が実現する。

以下にストラクチャランレングス法を適用した時のデータ量を示す。

図3 (b) 7.9% 1.90 bit/pal

図3 (c) 6.3% 1.51 bit/pal

図3 (d) 7.1% 1.70 bit/pal

図3 (e) 4.8% 1.15 bit/pal

図4 (b) 5.1% 1.22 bit/pal

図4 (c) 1.8% 0.43 bit/pal

この結果から全ての画像に対し、局所的誤差拡散法が誤差拡散法に較べて高い圧縮率が実現している様子が分かる。これは局所的誤差拡散法では等色領域が保存されるためである。また図4 (c)の結果は1.8%と $1/50$ 以下にデータが圧縮されており、本方式がカラー階調画像の符号化方式としても優れていることが分かる。

7. おわりに

本論文では、輪郭線の除去に有効な誤差拡散法を改良した局所的誤差拡散法を提案した。局所的誤差拡散法では、従来の誤差拡散処理で発生する問題点を解決するとともに、原画像のエッジ、等色領域が保存され、データ圧縮の面でも効率化が図れた。

今後行うべき基本的な実験として、次のようなことが考えられる。人間の

視覚特性, つまり隣接する等色領域間の色が, RGB空間上でどの程度距離が離れている場合に, 人間の目に偽の輪郭線として知覚可能か, あるいは同一色の画素がいくつ連続すると色の帯として認識できるか, といった偽輪郭線の見える条件をはっきりさせる必要があると考えられる。

このような実験を基にして, 画像中から条件に当てはまる部分を見つけ出し, その部分に対してなんらかの処理を行うことにより, 色の帯が見える条件以外の状態を作り出して, 偽輪郭線の消去を行う方法が考えられる。

引用文献:

- (1) 安田: “静止画符号化国際標準化の動向”, PCSJ'87
- (2) 初崎, 安居院, 中嶋: “コンピュータアニメーション画像の圧縮符号化”, 昭和59年度日本印刷学会春期研究発表会, pp.32-35
- (3) Y.ARAI, T.AGUI, M.NAKAJIMA: “Structure Runlength Coding for Digital Images”, IECE-JAPAN, vol.E69, No.11, pp.1225-1230(1986)
- (4) 新井, 安居院, 中嶋: “コンピュータ・グラフィクス画像に対する高能率符号化法”, 情報処理学会グラフィクスとCAD研究会, vo.85, No.44, 19-5(1985)
- (5) 新井, 安居院, 中嶋: “色空間線形分割法による限定色表示”, 信学論, vol.J70-D, No.2, pp.346-351(1987)
- (6) 安居院, 清水, 中嶋: “カラー階調画像量子化の高速化アルゴリズム”, 信学論, vol.J70-D, No.4, pp.736-741(1987)
- (7) 安居院, 中嶋, 太田, 黒川: “画素交換ディザ法による偽輪郭線の平滑化法”, TV学会技法, IPA86-1, pp.29-34(1986)
- (8) 安居院, 中嶋: “コンピュータグラフィクスの技法”, pp.29-34(新オーム文庫)
- (9) 吉良, 井上, 福井: “限定された数の代表色による適応型自然色画像表示”, 信学技法, IE83-92(1983)
- (10) Paul Heckbelt: “Color Image Quantization for Frame Buffer Display”, SIGGRAPH COMPUTER GRAPHICS, vol.16, No.3, pp.297-307(1983)
- (11) 岩井, 宇野: “色情報に基づく色彩画像の表示法”, 情報処理学会, グラフィクスとCAD研究会, 18-5(1985)